

СТРУКТУРА БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ОРТОРОМБИЧЕСКОГО АЛЮМИНИДА ТИТАНА С ТИТАНОВЫМ СПЛАВОМ

А.В. Иноземцев

Руководитель – проф., д-р физ.-мат. наук Б.А. Гинберг

ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

e-mail: avinz@imp.uran.ru.

Применение слоистых композитов и покрытий позволяет повысить надежность и долговечность большого класса деталей и оборудования. Существует несколько способов получения слоистых металлических композиций и нанесения покрытий, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому они не исключают, а взаимно дополняют друг друга. Знание возможностей каждого из них позволяет определить наиболее эффективный способ для производства конечного вида слоистого материала, обеспечивающий высокое качество изделия и хорошие экономические показатели его изготовления.

При температурах выше 400 титан и его сплавы обладают способностью позлащать атмосферные газы, образуя хрупкие сплавы, непригодные для практического применения. В связи с этим повышается роль различных покрытий из принципиально новых материалов, улучшающих эксплуатационные характеристики готовых изделий. Упорядоченные сплавы на основе титана выдерживают при эксплуатации существенно более высокие температуры (вплоть до 1200°C). Это алюминиды титана – сплавы на основе упорядоченных фаз $\gamma(\text{TiAl})$, $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$ и орторомбической О-фазы, упорядоченной по трём элементам (Ti_2AlNb). Однако и они имеют существенные недостатки – низкая пластичность и вязкость при комнатных температурах. В ряде случаев недостатки, присущие тем и другим сплавам, можно преодолеть, идя по компромиссному пути — по пути создания нового класса материалов: титановых сплавов, плакированных тонкими листами алюминидов титана. Возникает вопрос о выборе материала покрытия для титановых сплавов, который обладал бы хорошим комплексом механических свойств, технологичностью, высокой химической стабильностью и сопротивлением окислению в большом диапазоне температур. Так же немаловажным фактором является совместимость материала покрытия с основным материалом. К таким материалам можно отнести в частности орторомбические орторомбические алюминиды титана (ОАТ). Они обладают высокой прочностью (до 1600 МПа), достаточно хорошей пластичностью (по сравнению с другими алюминидами титана), которая может достигать 16% [1]. При рабочих температурах 650-700 °С некоторые сплавы на основе Ti_2AlNb сохраняют устойчивость к окислению в течение 4000 часов [2].

Критическим местом у биметаллических соединений является узкая зона вблизи контактной поверхности. Именно там происходят наиболее значительные изменения структуры и фазового состава материалов. Свойства

зоны формирования соединения обычно определяют свойства биметаллического соединения в целом. Характер переходной зоны зависит от выбранной технологии соединения материалов, от температурно-временных, силовых и прочих режимов процесса.

Диффузионная сварка (ДС) обладает целым рядом достоинств: она не требует дорогостоящих припоев, электродов, флюсов, отпадает необходимость в последующей механической обработке, так как нет окарины, шлака, графа, что исключает потерю драгоценного металла, масса конструкции не увеличивается, что неизбежно при других видах сварки. ДС обычно осуществляется в вакууме, что позволяет получить соединение с минимальным содержанием вредных примесей. Таким образом, ДС позволяет получить прецизионные соединения, равнопрочные основному материалу. Применение энергии взрыва в таких технологических воздействиях, как деформационное упрочнение, сварка материалов и послесварочная обработка, является перспективным методом повышения эксплуатационных свойств машин и металлоконструкций. Применение ударно-волнового нагружения для получения биметаллических конструкций одновременно с получением сварного соединения приводит к упрочнению соединяемых металлов за счет увеличения в их объёме плотности различных дефектов кристаллического строения.

В ЦНИИ КМ “Прометей” (г. С.-Петербург) были получены биметаллические соединения ОАТ с титановым сплавом путем сварки взрывом (СВ) [3] и ДС [4]. Исследование структуры этих соединений – цель данной работы. В качестве исходных материалов для получения биметаллических соединений были выбраны: сплав марки ВТИ-1 (Ti-30Al-16Nb-1Zr-1Mo) на основе ОАТ и титановый сплав ПТЗВ (Ti-7.7Al-1.8V) – методом ДС, сплав ВТИ-1 и титановый сплав ВТ1-0 – методом СВ. Составы сплавов указаны в атомных %.

Для анализа микроструктуры, фаз, перераспределения легирующих элементов в зоне соединения использовали методы оптической металлографии (Neophot 2, EPIQUANT с вычислительным комплексом SIAMS), просвечивающей электронной микроскопии (JEM 200CX), микрорентгеноспектрального анализа (растровый электронный микроскоп с энергодисперсионным детектором) и рентгеноструктурного анализа (ДРОН-3 в монохроматизированном Cu-K_α излучении).

Исследования показали, что после ДС фазовый состав титанового сплава качественно не изменился, тогда как в ОАТ произошли фазовые превращения и вместо изначально наблюдаемых в нём α_2 и орторомбическая фаз в нём зафиксировалась разупорядоченная ОЦК фаза.

В результате проведённых исследований выявлена многослойная структура сварного соединения, полученного ДС. Можно выделить четыре качественно отличающихся по микроструктуре и фазовому составу слоя в структуре этого биметаллического соединения.

- алюминид вдали от контактной поверхности (КП) – β фаза (зёрна);
- алюминид вблизи КП – β фаза и пластины α_2 и орторомбической фаз;

- Ti-сплав, вблизи КП – β фаза и пластины $\alpha(\alpha_2)$ -фазы;
- Ti-сплав, вдали от КП – α -фаза с прослойками β -фазы).

После СВ, несмотря на сильное ударно-волновое нагружение, фазовый состав материалов слабо отличается от исходного. Однако микроструктура исходных материалов претерпевает существенные изменения. Прежде всего, следует отметить, что наблюдаемая структура материалов является типичной для сильно деформированного состояния и представлена сложными структурными образованиями. Так как интенсивная пластическая деформация, вызванная ударными волнами, сильно неоднородна, одновременно наблюдаются структуры, типичные для различных стадий фрагментации, такие как ячеистая структура, полосовая структура с высокой плотностью дислокаций, а также относительно крупные зерна титана, образовавшиеся в результате рекристаллизации в местах, где локальный разогрев достигал температур, близких к температуре плавления. Причем степень деформации различается как по глубине свариваемых материалов, так и между самими материалами. В титановом сплаве в большей мере наблюдаются элементы микроструктуры, характерные для сильнодеформированных материалов, чем в сплаве ВТИ-1.

Литература:

1. Koss P.A., Banerjee D., Lukasak D.A., Gogia A.K. High temperature aluminides intermetallics, - edited by S.H. Whang, C.T. Liu, D.P. Pope, J.O. Stegler (Warrendale, PA: TMS) 1990, pp. 175-180.
2. Leyens C., Gedanitz H. Long-term oxidation of orthorhombic alloy Ti-22Al-25Nb in air between 650 and 800 °C // Scripta Materialia, 1999, vol 41, N8, pp. 901-906.
3. Рыбин В.В., Сидоров И.И., Гринберг Б.А. и др. Микроструктура биметаллического соединения титан - орторомбический алюминид титана (сварка взрывом) // Вопросы материаловедения, 2004. №2 (38). С. 61-71.
4. Рыбин В.В., Семенов В.А., Семенов А.Н. и др. Биметаллические соединения орторомбического алюминид титана с титановым сплавом // ФММ, 2005. №99. С. 82-91.

Электронно-микроскопические исследования выполнены в центре коллективного пользования по электронной микроскопии ИФМ УрО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке х/дог. 48/07/939-2007, проекта президиума РАН №27.